

H16/B10 プログラム意味論の研究(1節 共同プロジェクト研究の理念と概要, 第4章 共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	12
ページ	223-225
発行年	2006-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/30638

課題番号 H16/B10

採択回数	1	2	3
------	---	---	---

プログラム意味論の研究

[1] 組織

代表者：佐藤 雅彦
(京都大学大学院情報学研究科)

対応者：外山 芳人
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

五十嵐 淳
(京都大学大学院情報学研究科)

中澤 巧爾
(京都大学大学院情報学研究科)

大堀 淳 (東北大学電気通信研究所)

篠埜 功 (東北大学電気通信研究所)

亀山 幸義
(筑波大学システム情報工学研究科)

桜井 貴文 (千葉大学理学部)

研究費：校費 400,000 円，旅費 297,660 円

[2] 研究経過

本プロジェクトの目的

コンピュータプログラムの意味論の研究は 1960 年代以降活発に研究されてきている。とくに近年では、構成的な立場でプログラムの意味を研究する「操作的意味論」が中心的研究テーマになっている。本研究では、プログラミング言語を先に与えられたものと考えずに、逆に「よい操作的意味論」が構築できるためにプログラミング言語が備えるべき性質を研究し、それを基にそのようなプログラミング言語の設計指針を与えることを目的とする。

研究会の開催状況

本プロジェクトは本年度が第二年度であった。本年度は前年度得られた結果を踏まえて、上記目的達成のため、二回のプロジェクト研究会を開催し、活発な議論を通して、ロジックの立場、計算論の立場、さらにこれらを統合した型理論の立場からプログラミング言語の本質を追及した。

第一回目のプロジェクト研究会は、平成 17 年 7 月 21 日から 22 日に東北大学電気通信研究所において開催され、プロジェクトの成果報告と今後の共同研究の方向等についての意見交換が行われた。第二回目のプロジェクト研究会は、平成 17 年 11 月 24 日から 11 月 25 日に東北大学電気通信研究所において開催され、プロジェクトの成果報告が行なわれた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

1. 様々な論理体系や計算体系を表現するための自然枠組のために、抽象操作と具体化操作を備えた構造を持つ式の理論を提案した。この理論においては、アリティに加えてカテゴリの概念を導入し、豊富な数学的概念を表現することができるようになった。
2. プログラム変換技法をパターン化し、変換パターンとしてシステムに蓄積することにより、様々なプログラム変換技法の自動適用が可能になること

が期待できる。このような一般的なプログラム変換の実現を目指し、書き換えシステムに基づく理論的基礎を与えるとともに、その理論に基づくプログラム変換システム RAPT を実装した。本システムの特徴は、変換の正当性を潜在帰納法を利用して完全に自動検証できることである。

3. 多くのプログラム変換では、自然数やリストなどのデータ構造に基づくプログラムの帰納的な性質を補題や変換規則として利用している。そこで、強力な自動証明法である書き換え帰納法に基づいたプログラム融合変換システムを提案し、そのプロトタイプを実装した。本システムの特徴は、自動証明システムとプログラム変換システムが一体となって働くため、プログラム変換に必要な補題を自動証明しながら、その結果を利用して変換をさらに進められる点にある。
4. 完備化や書き換え帰納法などの定理自動証明手法では、書き換えシステムの停止性を保証することが不可欠である。そこで、関数型プログラムを対象とした高階書き換えシステムの停止条件について、理論的基礎の検討を行うとともに、自動証明やプログラム変換への応用が容易な新しい停止性判定手法を開発した。また、高階書き換えシステムを対象とする帰納的定理の枠組みを明らかにし、高階関数の等価性を踏まえた帰納的定理の自動証明法を提案した。
5. 構成的論理学の証明論を基礎とする機械語コードの意味論の構築およびその意味論を基礎とした JAVA のバイトコードのアクセス制御機構の構築に関する研究の紹介を行い、関連するトピックの討論を行った。
6. プログラムの意味を定める方法の一つであるプログラム変換によって定めた操作的意味と、プログラム言語に直接与えた操作的意味が一致することを、形式的に証明する研究を行った。具体的には、プログラム言語のモデルとしてラムダ計算の体系を選び、これに対する CPS 変換の健全性と完全性の証明を高階抽象構文を用いて形式化する研究をおこなった。その結果、健全性の証明の形式化は問題なくできること、完全性の証明に必要な逆 CPS 変換は合成的でないため、この形式化には適さないこと、さらに、ラムダ計算に第一級継続を加えた体系では、逆 CPS 変換も合成的であるため、高階抽象構文による形式化ができることの3点を示した。

7. ラムダ・ミュー計算の強正規化性の別証明を与えるために、mark 付き計算をというものを提案した。この計算系は、単純型付入計算に、定義(変数に項を)と定義をコピーしてよい場所を指定できる mark という加えた計算系であり、ラムダ・ミュー計算の項を CPS 変換してこの計算系の項に変換すれば、ラムダ・ミュー計算の強正規化性をこの計算系の強正規化性の証明に帰着できる。そして、この計算系の強正規化性は単純型付ラムダ計算の強正規化性と同様に証明でき、ラムダ・ミュー計算の強正規化性を直接 reducibility を使って証明した場合に比べて容易である。また、ラムダ・ミュー計算の変種の強正規化性の証明も CPS 変換を変更すればよい。
8. 昨年度提案した CPS 変換による強正規化性証明法がより広い体系に対して適用可能であることを示し、値呼びラムダ・ミュー計算や選言とその置換簡約を含むような自然演繹古典論理の強正規化性を提案の方法で証明した。また、既に提案されている増加項の概念を用いた別の証明方法も置換簡約を含む自然演繹古典論理の強正規化性に対して有効であることを示し、さらに、一般除去規則とその置換簡約を含む体系の強正規化性を証明した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では、主に「性質のよい操作的意味論」を持つプログラミング言語構築のための基礎的な研究を行ない、関連の成果が蓄積されつつある。そもそも操作的意味論は、その構成的な性格のため計算機上での実現が比較的容易であるため、本研究の成果は純粋な理論的成果に留まらず、プログラム検証や開発支援技術の新しい可能性を開くものとして期待できる。また、本プロジェクトの活発な交流を通して形成された、複数の大学の多岐に渡る計算機科学分野の研究グループ間のネットワークは、今後の電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークを形成する基盤となることが期待される。

[4] 成果資料

1. 佐藤 雅彦. フレーゲの計算機科学への影響. 科学哲学, 38 (2), pp.21-33, 2005.
2. Y. Toyama. Reduction strategies for left-linear term rewriting systems. In Festschrift for J.W.Klop, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3838, pp.198-223, 2005.
3. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama. Introducing Sequence Variables in Program

- Transformation based on Templates. In Proceedings of the Forum on Information Technology 2005 (FIT2005), Information Technology Letters, Vol.4, pp.5-8, 2005 (in japanese).
4. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama. Program Transformation by Templates based on Term Rewriting. In Proceedings of the 7th ACM-SIGPLAN International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2005), ACM Press, pp.59-69, 2005.
 5. Yuki Chiba, Takahito Aoto, and Yoshihito Toyama. RAPT: A Program Transformation System based on Term Rewriting. The 8th JSSST Workshop on Programming and Programming Languages, pp. 60-74, 2006.
 6. 青戸等人. 書き換え帰納法における向き付け不能な等式の証明. 第8回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集, pp. 75-89, 2006.
 7. 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人. パターンに基づくプログラム変換システム. 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 3A-1, 2005.
 8. 吉原宏之, 亀山幸義. プログラムに対する変換の正しさの形式検証. 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 東北大学, 2005年9月.
 9. Yuki Yoshi Kameyama, Hiroyuki Yoshihara. Metatheorem Proving in Twelf and its Semantics. Theorem Provers Meeting, Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nov. 2005.
 10. Yuki Yoshi Kameyama, Hiroyuki Yoshihara. Formalizing Equational Correspondence Proof for CPS Transformation based on Logical Framework. Type Theory Workshop, National Institute of Informatics, Tokyo, Jan., 2006.
 11. Atsushi Igarashi, Chieri Saito, and Mirko Viroli. Lightweight family polymorphism. In Kwangkeun Yi, editor, Proceedings of the 3rd Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS2005), Vol. 3780 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 161-177, Tsukuba, Japan, November 2005.
 12. Futoshi Iwama, Atsushi Igarashi, and Naoki Kobayashi. Resource usage analysis for a functional language with exceptions. In Proceedings of the ACM SIGPLAN Workshop on Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM'06), pp. 38-47, Charleston, SC, January 2006.
 13. Isao Sasano, Mizuhito Ogawa, Zhenjiang Hu. Maximum Marking Problems with Accumulative Weight Functions. International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing (ICTAC2005), LNCS 3722, pp.562-578, 2005.
 14. 中澤巧爾, 龍田真. 選言を含む古典論理の強正規格化性. 第8回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2006) 論文集, pp.187-202, 2006.